

⑬ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3221920 A1**

⑤ Int. Cl. 3:
A61F 1/02
A 61 N 1/42

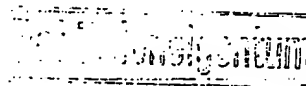
⑳ Aktenzeichen:
㉔ Anmeldetag:
㉕ Offenlegungstag:

P 32 21 920.2
11. 6. 82
7. 4. 83

㉑ Anmelder:
Surerus, Walter, Dr., 7016 Gerlingen, DE

㉒ Erfinder:
Surerus, Walter, Dr.; Surerus, Martin, 7016 Gerlingen, DE

DE 3221920 A1



Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

㉓ **Schaft einer Prothese**

Es wird ein Schaft einer Prothese zum Ersatz menschlicher Gliedmaßen vorgestellt, bei dem im Bereich des aufzunehmenden Gliedstumpfs wenigstens ein magnetisches Mittel angeordnet ist. Ein solches Schaftsystem dient dazu, die Phantom- und Stumpfschmerzen zu mindern, und wird insbesondere in Verbindung mit Beinprothesen eingesetzt.

(32 21 920)

Dr. Walter Surerus, 7016 Gerlingen

81 001 Ch/ku 09. Sept. 1981

Patentansprüche/Schutzansprüche

1. Schaft einer Prothese zum Ersatz menschlicher Gliedmaßen, insbesondere einer Beinprothese zur Aufnahme eines Gliedstumpfs, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des Stumpfs (11) wenigstens ein magnetisches Mittel (22, 23) angeordnet ist.
2. Schaft nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) aus festem starrem Material besteht.
3. Schaft nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) aus plastischem Material besteht.
4. Schaft nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) aus elastischem Material besteht.

5. Schaft nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) aus wenigstens zeitweise flüssigem Material besteht.

6. Schaft nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) aus wenigstens zeitweise pulverigem Material besteht.

7. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) seitlich des Stumpfs (11) angeordnet ist.

8. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) unterhalb des Stumpfs (11) angeordnet ist.

9. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) stückförmig ausgebildet ist.

10. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) bandförmig ausgebildet ist.

11. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) plattenförmig ausgebildet ist.

12. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) wenigstens auf einen Teil des Stumpfschafts (13) zum Verbleib aufgetragen ist.

13. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) mit Hilfe einer Halterung (21, 38) befestigt und in seiner Halterung (21, 38) verstellbar ist.

14. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 11 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) auf leichte Weise in seine Halterung (21, 38) einsetzbar und aus seiner Halterung (21, 38) herausnehmbar ist.

15. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) in Bezug auf die Längsachse des zu ersetzenden Glieds im wesentlichen in Längsrichtung polarisiert ist.

16. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) in Bezug auf die Längsachse des zu ersetzenden Glieds im wesentlichen in Querrichtung polarisiert ist.

17. Schaft nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Richtung der Polarisation verstellbar ist.

18. Schaft nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Richtung der Polarisation umkehrbar ist.

19. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) in Bezug auf die Längsachse des zu ersetzenden Glieds mit Hilfe einer Verstellvorrichtung (25) im wesentlichen in Längsrichtung verstellbar ist

20 Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) in Bezug auf die Längsachse des zu ersetzenden Glieds mit Hilfe einer Verstellvorrichtung (25) im wesentlichen in Querrichtung verstellbar ist.

21. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) in Bezug auf die Längsachse des zu ersetzenden Glieds mit Hilfe einer Verstellvorrichtung (37) im wesentlichen kippbar ist.

22. Schaft nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Mittel (22, 23) in Bezug auf die Längsachse des zu ersetzenden Glieds mit Hilfe einer Verstellvorrichtung (32) im wesentlichen drehbar ist.

23. Schaft nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellung über einen Zahntrieb (25, 26; 31, 32; 36, 37) - gegebenenfalls über Verbindungsmittel - und über einen Handgriff (39) von außerhalb des Schafts (13) bewirkbar ist.

24. Schaft nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellung über einen Hebeltrieb - gegebenenfalls über Verbindungsmittel - und über einen Handgriff (39) von außerhalb des Schafts (13) erfolgt.

25. Schaft nach Anspruch 23 oder 24, mit einer Stumpfeinlage (17), die in ihrer Lage verstellbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellvorrichtung (25, 26; 31, 32; 36, 37) des magnetischen Mittels (22, 23) mit der Verstellvorrichtung der Stumpfeinlage (17) gekoppelt ist.

26. Schaft nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die wirksame Verstellvorrichtung durch eine Verstellung des Handgriffs (39) anwählbar ist.

27. Schaft nach einem der Ansprüche 19 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellvorrichtung (25, 26; 31, 32; 36, 37) des magnetischen Mittels (22, 23) gleich ausgebildet ist wie die Verstellvorrichtung einer Stumpfeinlage nach P

28. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von magnetischen Mitteln (22, 23) vorgesehen ist.

29. Schaft nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die mehreren magnetischen Mittel (22, 23) im wesentlichen in einer Reihe quer zum Stumpf (11) angeordnet sind.

30. Schaft nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die mehreren magnetischen Mittel (22, 23) im wesentlichen längs des Stumpfs (11) angeordnet sind.

31. Schaft nach einem der Ansprüche 28 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß nebeneinander liegende magnetische Mittel (22, 23) die gleiche Polarisationsrichtung aufweisen.

32. Schaft nach einem der Ansprüche 28 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß nebeneinander liegende magnetische Mittel (22, 23) die entgegengesetzte Polarisationsrichtung aufweisen.

33. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetischen Mittel (22, 23) durch Dauermagnete realisiert sind.

81001

27. Februar 1982 ch-dö

34. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetischen Mittel (22, 23) in die Schaftwand (15) eingepreßt sind.

35. Schaft nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetischen Mittel (22, 23) dem Material der Schaftwand (15) beigemischt sind.

36. Schaft nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetischen Mittel (22, 23) in die Stumpfeinlage (17) eingepreßt sind.

37. Schaft nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetischen Mittel (22, 23) dem Material der Stumpfeinlage (17) beigemischt sind.

lm

Patent- und Gebrauchsmusterhilfsanmeldung
Dr. Walter Surerus, 7016 Gerlingen

81 001 Ch/ku 09. Sept. 1981

Schaft einer Prothese

Die Erfindung geht aus von einem Schaft einer Prothese zum Ersatz menschlicher Gliedmaßen, insbesondere einer Beinprothese, zur Aufnahme eines Gliedstumpfes.

Ein Prothesenschaft hat bekanntlich die Aufgabe, eine möglichst feste Bindung zwischen dem Gliedstumpf und der Prothese herzustellen. Ein optimales Einpassen des Stumpfendes in das Schaftende ist jedoch für die Dauer nicht immer einwandfrei durchführbar. Vor allem während des Gehens ist das Stumpfende ständigen Veränderungen unterworfen, deren Ursache beispielsweise die dauernd wechselnde Belastung, Gewebsschwellungen und Sekretionen sind. Die Folge davon sind unter anderem mehr oder weniger starke Stumpfschmerzen. Bei einer Beinprothese wirkt sich besonders nachteilig aus, daß der Oberschenkelknochen außer dem Oberschenkelkopf noch einen Oberschenkelhals aufweist. Beim Gehen entsteht dadurch eine Quirlbewegung des Knochenendes im Stumpf. Gleichzeitig tritt beim Gehen durch die Verschiedenartigkeit des Bewegungsablaufes zwischen

ℙ Phantom- und
† Stumpfs, vor allem auch des

den menschlichen Gelenken und den technischen Gelenken der Prothese eine Pumpbewegung^{auf}. Infolge einer äußeren und einer inneren Quirl- und Pumpbewegung hat das Knochenende die Neigung, zur Schaftinnenwand auszuweichen und damit die vorhandene Restmuskulatur einseitig zu einer Umgruppierung zu zwingen.

Man hat schon eine Mehrzahl von Lösungen angeboten, diese Mängel zu beseitigen. Beispielsweise ist aus der DE-PS 20 60 239 bekannt, eine ringförmige Stützeinlage in den Schaft einzubauen. Durch diese Maßnahme wird das Knochenende beim Gehen und Stehen auf die Mitte der Schaftinnenwand zentriert und damit eine Linderung des Stumpfschmerzes und eine günstigere Gruppierung der Muskulatur erreicht. Weiter ist aus der DE-PS 19 53 766 bekannt, durch eine besondere Formung des Stumpfstrumpfs vor allem die Schweißabsonderungen kontinuierlich aus dem Kontaktbereich des Schafts abzuführen. Schließlich hat man durch eine aus der DE-PS 23 29 929 bekannte Maßnahme sichergestellt, daß elektrische Aufladungen aus dem Schaft abgeleitet werden.

Alle diese Maßnahmen konnten jedoch nur eine teilweise Linderung der Stumpfschmerzen bewirken. Als letztes Mittel blieben daher nur eine lokale Nervenblockade.

Auf einem ganz anderen Gebiet der Medizin hat man die Wirkung magnetischer Wechselfelder auf den menschlichen Organismus untersucht. Bekannt geworden ist vor allem die Beeinflussung der Knochenbildung durch elektromagnetische Potentiale, hemmende Effekte konstanter Magnetfelder bei Tumoren, die Verbesserung

der Gleichgewichtslage durch eine Reizung mit niederfrequenten elektromagnetischen Pulsationen, die Wirkung stationärer magnetischer Felder auf das Zentralnervensystem, die Blutbildung, die Herztätigkeit und das Wachstum, die Beeinflussung gestörter Frakturheilung und der Gewebsregeneration durch elektromagnetische Felder und die Magnetfeldtherapie beispielsweise bei Kniegelenkarthrosen aus "mf - dialog", Zeitschrift für Theorie und Anwendung von Magnetfeldern in der Medizin, November 1979. Weiter wurden bekannt "Theoretische Betrachtungen über die Anwendung niederfrequenter gepulster Magnetfelder in der orthopädischen Therapie", Wochenschrift für praktische Medizin, Juni 1980, dort sind jedoch keine speziellen Anwendungsgebiete genannt oder Therapievorschlüsse angegeben. Die Aufgabe der Erfindung liegt vor allem darin, ein Schaftsystem anzugeben, das eine weitere Linderung der Stumpfschmerzen ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß am oder im Prothesenschaft im Bereich des Stumpfs wenigstens ein magnetisches Mittel angeordnet ist.

Der Vorteil einer solchen Anordnung liegt darin, daß an sich schon untersuchte und bekannte Einwirkungsmöglichkeiten vor allem auf Nervenendbahnen genutzt werden und damit eine weitere Minderung von Phantom- und Stumpfschmerzen ermöglicht wird. Weiter ist von Vorteil, daß ohne zusätzliche technisch-medizinische Apparaturen im Bereich des Gliedstumpfs ein magnetisches Feld bereitgestellt wird. Vorteilhaft ist außerdem, daß beim Gehen die Bewegungen des Stumpfes, und zwar sowohl die Quirlbewegungen als auch die Pump-

bewegungen, ausgenützt werden, um im Stumpf ein magnetisches Wechselfeld zu erzeugen.

In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des im Hauptanspruch genannten Schaftsystems angegeben.

Vorteilhaft ist, daß als magnetisches Mittel Material verschiedener Aggregatzustände benützt werden kann.

Durch eine Anbringung des magnetischen Mittels seitlich und/oder unterhalb des Stumpfes können die magnetischen Felder individuell der Art des Stumpfes und dem persönlichen Empfinden des Prothesenträgers angepaßt werden.

Die räumliche Ausführung des magnetischen Mittels, sei es nun stückförmig, bandförmig oder plattenförmig, läßt dem Hersteller des Prothesenschaftes einen gewissen Spielraum beim Realisieren eines geforderten Magnetfelds.

Eine Verstellbarkeit des magnetischen Mittels und/oder die Wahl der Polarisation des magnetischen Mittels stellen weitere Möglichkeiten dar, für ein gefordertes Magnetfeld die richtige räumliche Anordnung zu treffen oder durch eine Veränderung der gegebenen räumlichen Anordnung das Magnetfeld individuellen Wünschen anzupassen.

Von Vorteil ist weiter eine einfache Verstellbarkeit des magnetischen Mittels, die vom Prothesenträger während des Tragens der Prothese vorgenommen werden

kann. Insbesondere sind dem Konstrukteur der Prothese Möglichkeiten gegeben, das jeweils am besten geeignete Mittel zur Verstellung, das optimale Verbindungsmittel und den am einfachsten bedienbaren Handgriff einzusetzen.

Bei Prothesen mit einer Stumpfeinlage, deren Position innerhalb des Prothesenschafts verstellbar ist, ist es von besonderem Vorteil, wenn die Verstellvorrichtung des magnetischen Mittels mit der Verstellvorrichtung der Stumpfeinlage gekoppelt und die gerade zur Benutzung vorgesehene Verstellvorrichtung durch eine einfache Manipulation anwählbar ist.

Vorteilhaft ist weiter die Verwendung einer Mehrzahl von magnetischen Mitteln, dies ermöglicht eine Anpassung der magnetischen Feldstärke und der Konfiguration des Magnetfelds und damit ein Eingehen beispielsweise auf den Stumpfumfang und die schon vorhandene Schmerzstärke.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung und in der nachfolgenden Beschreibung dargestellt. Die Figur 1 zeigt die Skizze eines Oberschenkelstumpfs, der in einem Beinprothesenschaft gehalten ist, mit magnetischen Einlagen, Figur 2 Ausführungsbeispiele von seitlich angeordneten magnetischen Mitteln, Figur 3 Ausführungsbeispiele von unterhalb des Stumpfs angeordneten magnetischen Mitteln, und Figur 4 eine Kombination von seitlich und unterhalb des Stumpfs angeordneten Mitteln mit einem möglichen Feldlinienverlauf.

In der Übersichtsskizze in Figur 1 ist ein Gliedstumpf 11 mit einem Knochenende 12 dargestellt. Der

Gliedstumpf 11 ist in einem Prothesenschaft 13 mit einem Tubersitz, einer Schaftwand 15⁷ und einem Schaftboden 16 gehalten. In den Prothesenschaft 13 ist⁷ eine Stumpfeinlage 17 eingesetzt, die zweckmäßigerweise eine zentrale Ausnehmung 18 hat. Bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel sind in die Schaftwand 15 ringförmige Ausnehmungen 21 eingelassen. In die ringförmigen Ausnehmungen 21 sind als magnetische Mittel dienende ringförmige Magnetbänder 22 eingelegt. Die Breite der ringförmigen Ausnehmungen 21 ist größer gewählt als die Breite der ringförmigen Magnetbänder 22, damit können die ringförmigen Magnetbänder 22 in ihrer Lage verstellt werden. Weiter ist eine ebenfalls als magnetisches Mittel dienende Magnetplatte 23 in waagrechter (23a) und gekippter (23b) Stellung gezeigt.

Figur 2 zeigt Möglichkeiten dazu, wie die Magnetbänder 22 in ihrer Höhe verstellt und wie sie polarisiert sein können. In Figur 2a ist ein Magnetband 22 vorgestellt, das an seinem äußeren Umfang eine radiale Zahnung 24 trägt. Im Eingriff mit der radialen Zahnung 24 steht im gezeigten Ausführungsbeispiel ein Zahnrad 25, beispielsweise mit einer Schrägverzahnung. Das Magnetband 22 ist in der Richtung seiner Hochachse so polarisiert, daß seine obere Schmalseite 26 den Nordpol und seine untere Schmalseite 27 den Südpol aufweist.

Figur 2b zeigt ein ähnliches Magnetband 22, bei dem aber die obere Schmalseite 26 den Südpol und die untere Schmalseite 27 den Nordpol aufweist.

In Figur 2c ist das Magnetband 22 quer polarisiert in der Weise, daß sich der Nordpol an der Innenseite 28 und der Südpol an der Außenseite 29 befindet.

⁷ ,einer elastischen konischen Stumpfeinlage 14
⁷ außerdem eine flache

In Figur 2d befindet sich der Südpol an der Innenseite 28 und der Nordpol an der Außenseite 29 des Magnetbands 22.

Figur 3 zeigt Möglichkeiten der Verstellung und der Polarisierung einer Magnetplatte 23.

Im Ausführungsbeispiel nach Figur 3a ist die Magnetplatte an ihrem äußeren Umfang mit einer Zahnung 31 versehen. In die Zahnung 31 greift eine Schnecke 32 ein. Die Magnetplatte 23 ist achsial so polarisiert, daß der Nordpol an ihrer Oberseite 33 und der Südpol an ihrer Unterseite 34 liegt.

In Figur 3b ist der Südpol auf der Oberseite 33 und der Nordpol auf der Unterseite 34. Im Ausführungsbeispiel nach Figur 3c ist die Magnetplatte 23 radial so polarisiert, daß auf einer Seite der Nordpol und auf der gegenüberliegenden Seite der Südpol liegt. In diesem Beispiel ist auch die zweckmäßigerweise ebenfalls angebrachte zentrale Ausnehmung 18 zu sehen.

Die Magnetplatte nach Figur 3d ist radial mehrfach polarisiert hergestellt. Auf einer Seite und auf der dieser einen Seite gegenüber liegenden anderen Seite ist je ein Nordpol und an den beiden querab liegenden Seiten ist je ein Südpol vorgesehen.

Figur 3e zeigt eine Kippvorrichtung für die Magnetplatte 23. Die Magnetplatte 23 ist auf eine Trägerplatte 35 fest aufgesetzt. Auf der Unterseite der Trägerplatte 35 ist ein Zahnsegment 36 befestigt. Mit dem Zahnsegment 36 steht eine Schnecke 37 im Eingriff. Die Schnecke 37 ist in einer Buchse 38 gelagert und mit Hilfe eines Handgriffs 39 drehbar. Die Buchse 38 ist in die Schaftwand 15 eingelassen.

Figur 4 zeigt eine Möglichkeit einer Zusammenstellung eines ringförmigen Magnetbands mit einer Magnetplatte 23 sowie einen möglichen Verlauf der magnetischen Feldlinien einer solchen Figuration. Der Gliedstumpf 11 kann sich dann innerhalb des Magnetfelds in radialer und achsialer Richtung bewegen.

Die als Halterungen dienenden Ausnehmungen 21 und die als Halterung dienende Trägerplatte 35 sind so ausgebildet, daß das zugehörige magnetische Mittel leicht eingesetzt oder aufgesetzt und wieder herausgenommen werden kann. Statt des Zahntriebs mit dem Zahnsegment 36 und der Schnecke 37 kann beispielsweise auch eine an sich bekannte Hebelvorrichtung verwendet werden.

Figur 4 zeigt eine Möglichkeit einer Zusammenstellung eines ringförmigen Magnetbands mit einer Magnetplatte 23 sowie einen möglichen Verlauf der magnetischen Feldlinien einer solchen Figuration. Der Gliedstopf 11 kann sich dann innerhalb des Magnetfelds in radialer und achsialer Richtung bewegen.

Die als Halterungen dienenden Ausnehmungen 21 und die als Halterung dienende Trägerplatte 35 sind so ausgebildet, daß das dazugehörige magnetische Mittel leicht eingesetzt oder aufgesetzt und wieder herausgenommen werden kann. Statt des Zahntriebs mit dem Zahnsegment 36 und der Schnecke 37 kann beispielsweise auch eine an sich bekannte Hebelvorrichtung verwendet werden.

In der Zeichnung nicht gesondert dargestellt ist eine weitere Möglichkeit, den Erfindungsgedanken zu verwirklichen. Die magnetischen Mittel 22, 23 können während oder nach der Herstellung der eigentlichen Schaftwand 15 in die Schaftwand eingepreßt werden. Die magnetischen Mittel 22, 23 können aber auch bereits bei der Herstellung der Schaftwand 15 dem Material der Schaftwand 15 beigemischt werden und bilden dann zusammen mit der Schaftwand 15 eine einheitliche Masse.

Eine weitere Möglichkeit ist, die Stumpfeinlage 17 mit magnetischem Material 22, 23 zu versehen, entweder dadurch, daß das magnetische Material 22, 23 in die Stumpfeinlage 17 eingepreßt oder dadurch, daß dem Herstellungsmaterial der Stumpfeinlage 17 beige-mischt wird. Selbstverständlich können die beiden Möglichkeiten - magnetische Schaftwand 15 und magnetische Stumpfeinlage 17 - einzeln oder zusammen vorgesehen werden.

lin
11. Mai 1982

81 001

1/2

Nummer: 3221920
 Int. Cl. 3: A61 F 1/02
 Anmeldetag: 11. Juni 1982
 Offenlegungstag: 7. April 1983

3221920

Fig. 1

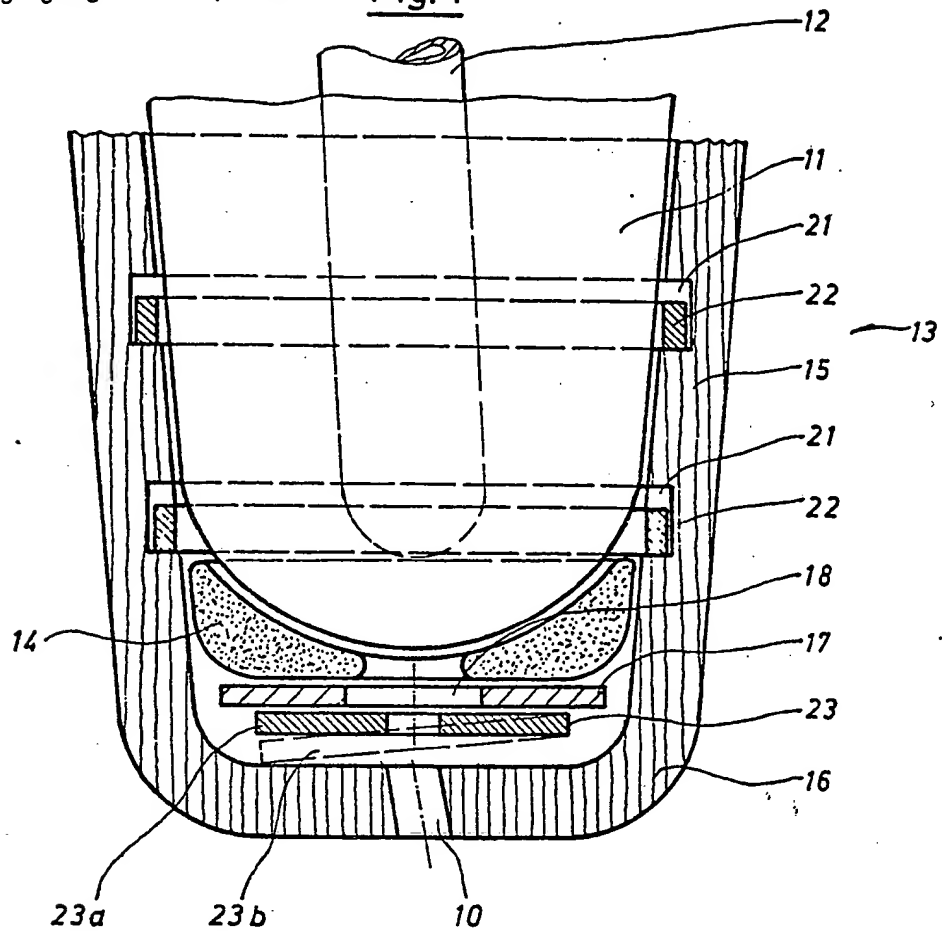


Fig. 2a

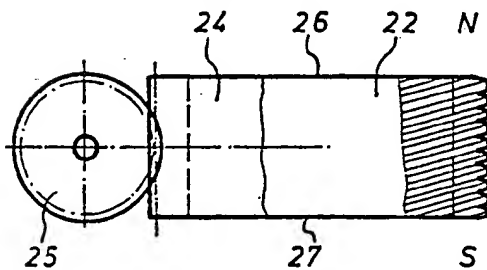


Fig. 2b

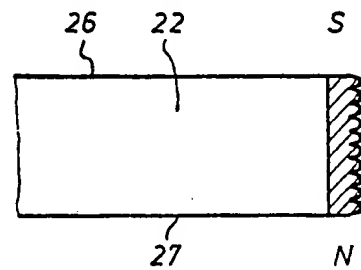


Fig. 2c

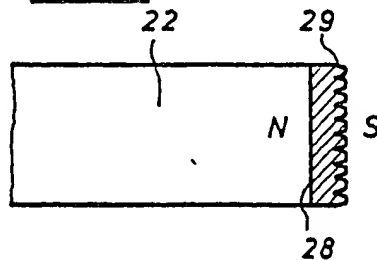
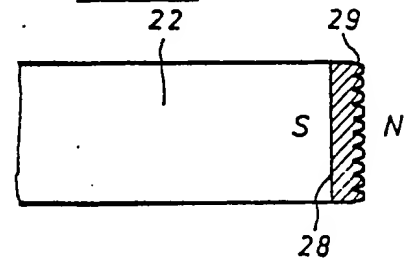
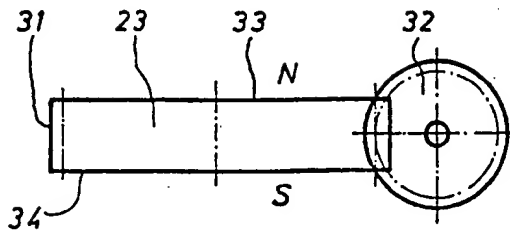
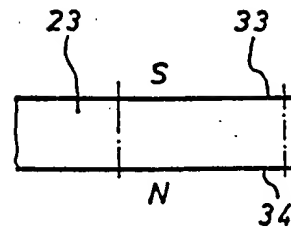
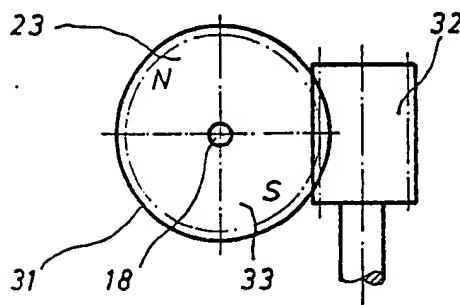
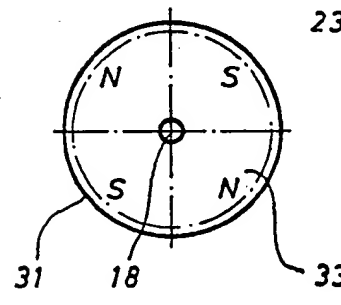
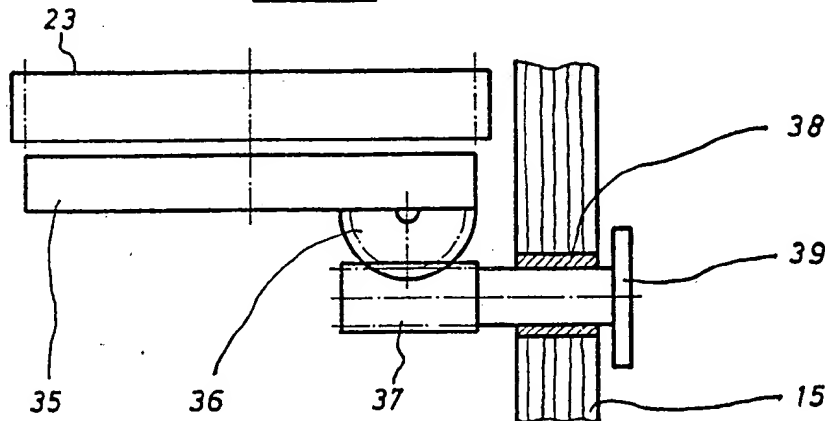


Fig. 2d



3221920

- 16 -

Fig. 3aFig. 3bFig. 3cFig. 3dFig. 3eFig. 4